

KÖMÜR DAMARLARININ SAPTANMASINDA ETKİSEL KUTUPLAŞTIRMA (IP) YÖNTEMİNİN KULLANIMI

The use of Induced Polarization (IP) Method for Determining Coal Seams

A. KEÇELİ(*) ve A. ERDOĞAN

ÖZET

Polarizlenebilen jeolojik ortamlarda Etkisel Kutuplaştırma (IP) Parametre değerlerinin, akım yoğunluğu arttıkça azaldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, önce, her bir polarizlenebilen jeolojik ortam için akım yoğunluğu ile polarizasyon parametresinin değişim özelliği mostralar üzerinde yerinde (in-situ) ölçülerle araştırılmıştır. Bu ölçülerde, akım yoğunluğu arttıkça IP değerleri kil ortamında hızlı bir azalma gösterirken kömür ortamında yavaş bir azalma göstermiştir. Belli bir akım yoğunluğu doygunluğuna (saturation) ulaşmakta ve herhangi bir IP etkisi göstermemektedirler. Mineralojik incelemeler; kömür ortamının bu özelliğinin, kömürün pirit minerali ve çeşitli tuzlar içermesi nedeniyle meydana geldiğini ortaya koymuştur.

Bu nedenle, kil ve kömür ortamlarına uygun akım karakteristikleri saptanarak yapılan (broadband-IP) IP derinlik sondajlarıyla klasik özdirenç ve IP yöntemleriyle saptanamayan kömür damarları başarılı olarak saptanabileceği, arazi örnekleriyle gösterilmiştir.

ABSTRACT

In this paper, variations of the induced polarization (IP) parameters with respect to the current density have been investigated by means of in-situ measurements on the outcrops of various rocks in a coal mine.

It is well known, in general, that values of the IP parameters for polarizable rock decreases as the current density increases. In our in-situ measurements, as the current density increases, IP frequency effect values decrease sharply in the clay medium, but slowly in coal medium. After a certain current density, IP effect can not be observed because of the current saturation effect in the polarizable medium. However, the clay medium shows earlier saturation effect than the coal seam does. When the certain current density is used in a survey, horizontal coal seam which is more resistive than that clay medium shows clearly larger polarizable effect than the clay medium does. It is understood that, especially, the coal seam containing pyrite and various liquid salt cause the above mentioned properties.

Utilizing from these properties of different polarizable rock in a coal mine, it can be discovered successfully the coal seam which can not be determined in the conventional resistivity and IP method.

GİRİŞ

Bilindiği gibi, elektrik özdirenç yöntemleri (electrical resistivity methods), yerin sıg ve derin zonlarındaki kömür damarlarının dolaylı veya dolaysız olarak saptanmalarında kömür damarı civarına göre etkin bir özdirenç farkına sahip olduğu zaman, başarılı olarak kullanılabilir. (Verma, 1979 ve 1982). Keza bilinmektedir ki söz konusu jeofizik yöntemler, mekanik sondaj ve iş günü sayılarını önemli miktarlarda azalttığı için, arama ve işletmecilik safhalarında da önemli miktarlarda ekonomik kazançlar sağlamaktadır.

Kuramsal ve uygulamalı araştırmalarla kontakt, fay ve dayk gibi yapısal durumların saptanmasında (Long 1954,

Van Nostrand ve Cook 1966, Apparao ve Roy 1971 ve Keçeli 1978) ve kömür damarlarının saptanmasında da (Bhattacharyya ve Patra 1968, Verma ve diğerleri 1979 ve 1982) özdirenç yöntemlerinin etkinliğini ve uygunluğunu göstermişlerdir. Bununla beraber söz konusu yayınlarda belirtilen yöntemin başarılarına rağmen, zaman zaman görülen başarısızlıklar nedeniyle yöntemin kullanımı sınırlı kalmıştır.

Bu başarısızlığa neden, kömür damarlarının ve kömür yatağındaki diğer jeolojik birimlerin kendi aralarında veya bölgeden bölgeye çok değişken elektrik özdirenç göstermeleridir. Bu nedenle de memleketimizde de özdirenç yöntem-

(*) A.Ü. Müh. Fak. - ISPARTA

leri, daha ziyade, kömür yataklarındaki yukarıda sözü edilen yapısal sorunların çözülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ne var ki, aşağıda anlatılacağı gibi, kömür damarlarının saptanmalarında çözüm gücü daha yüksek olan yeni elektrik yöntemler kullanılmaktadır.

Jeofizik yöntemlerden Etkisel Kutuplaştırma (Induced Polarization) IP yöntemi sülfürlü maden yataklarının ve yeraltı sularının saptanmasında en etkin bir arama yöntemi olduğu konu ile ilgilenenler tarafından iyi bilinir. (IP) yönteminin yeraltı ekonomik bünyelerinin saptanmasındaki başarısından dolayı bu alanda geniş araştırmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Bu araştırmalar sonucu (IP) yönteminin aşağıdaki dalları geliştirilmiştir:

Petrol yatakları	(IP) si
Kömür yatakları	(IP) si
Maden yatakları	(IP) si
Yeraltı suları	(IP) si
Mühendislik	(IP) si

Tüm jeofizik yöntemleri yeraltındaki elektrik özdirenç, sismik hız, yoğunluk ve manyetizasyon şiddeti gibi fiziksel parametre dağılımlarını saptayarak jeolojik yapıların derinlik ve kalınlık kavramlarıyla geometrik konumlarını analitik olarak aydınlatmaya çalışır. Genel olarak, memleketimizde sık rastlandığı gibi, jeolojinin karmaşık yapılarının birbirlerine göre fiziksel parametreleri arasında farkın az ve keza aranan ince bir yapının kalınlığı derinliği yanında çok küçük olduğu durumlarda klasik jeofizik yöntemlerle ekonomik bünyeleri saptamak mümkün değildir. Böyle durumlarda, ancak, yapısal jeoloji koşullarından önemli olanları aydınlatılabilir. Halbuki, (IP) yöntemi özdirenç gibi bir fiziksel parametreye ek olarak aynı zamanda, yeraltının jeokimyasal (fizikokimyasal) parametre değişimlerini de verebildiğinden, yeraltı hakkında en çok bilgi toplayabilen ve bu sebepten yeraltını en iyi aydınlatabilen bir jeofizik arama yöntemidir. Bu bakımdan, jeolojik yapıların akım ve frekans karakteristiklerine göre çalışan son yıllarda geliştirilmiş bulunan çok bantlı (IP) yöntemi yeraltını kantitatif ve kalitatif olarak aydınlatıldığı için diğer arama yöntemlerine göre ek bir üstünlüğe sahiptir. Bu nedenle gün geçtikçe çok bantlı IP yöntemine ilgi artmaktadır.

(IP) yöntemi, esas itibarıyla, yeraltının fizikokimyasal özellikleriyle kontrol edilen yerin çeşitli özdirençlerini ölçme anlamında olup klasik anlamdaki özdirenç etüdüne nazaran biraz zaman alıcıdır. Bununla beraber, yeraltını aydınlatmadaki üstünlüğü nedeniyle mekanik sondaj sayısını ve bu sebeple etüd masraflarını önemli miktarlarda azalttığı için yine de ilgili diğer yöntemlerden daha ucuz çalışan bir arama yöntemidir.

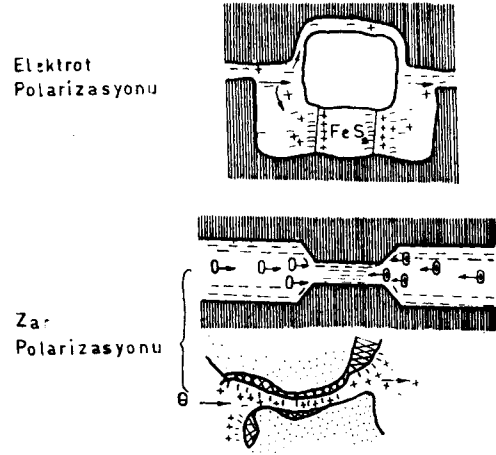
(IP) yöntemi kullanımı tamamen ekonomik amaca dönük olup genelde şirketler tarafından geliştirilmiştir. Bu bakımdan yöntemin özel kullanım teknikleri şirketlere göre farklı olup gizlilik içinde tutulmaktadır, Huntet (1980). İşte bu sebeple, bu makalede kömür damarlarının saptanması için geliştirilen IP yöntemi kullanımı tanıtılmaya çalışılacaktır.

Kömür Yataklarında IP Olayının Kaynağı

Okuyucuya konuyu tanıtabilmek amacıyla IP olayından kısaca bahsetmek yararlı olacaktır.

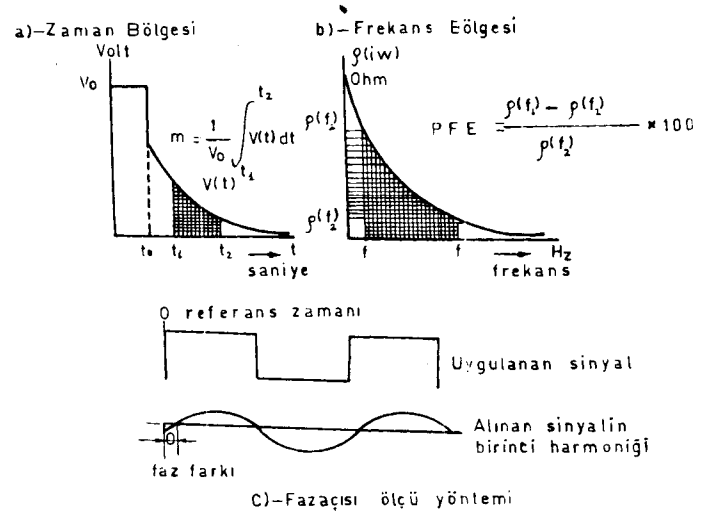
IP Olayının Tanımı: Şekil-1'de görüldüğü gibi, içinde çözünmüş iyonlar içeren bir sıvıyı taşıyan gözenekli ortamdan bir elektrik akımı geçirildiğinde metalik mineral önün-

de iyonik iletkenlik elektronik iletkenliğe dönüşürken veya iç yüzeyi ıslak kil kaplı gözeneklerin dar geçitleri önünde birtakım iyon yığılmaları kutuplaşma (Polarization) şeklinde oluşur. İşte bu olaya etkisel kutuplaştırma (Induced Polarization) (IP) olayı denilmektedir. Bu kutuplaşmış iyon yığılmaları uygulanan elektrik geriliminin bir kısmını depolar ve ek bir gerilim (overvoltage) gerektirir.



Şekil (1) Elektriksel endükleme polarizasyon çeşitleri (Kinds of electrical induced Polarization)

Uygulanan gerilimin kaldırılmasıyla, daha önce yığılmış olan iyonlar ilk konumlarına almaya çalışır. Bu esnada depolanmış ek gerilim tekrar açığa çıkar. Bu olayın dalga şekli Şekil-2a'daki gibi izlenir. İyonların yığılması ile ilgili yüklenebilme parametresi (chargeability) (m) Şekil-2a'daki gibi tanımlanır.



Şekil (2) Elektriksel endükleme polarizasyon ölçü yöntemleri (Electrical induced polarization methods)

Pratikte çoğu kez elektrik gerilimi sönümü yerine, alternatif bir elektrik gerilim altında, elektrik özdirenç değişimi saptanmak istenir. Kutuplaşmış iyon yığılmaları, bu durumda karmaşık bir kondansatör etkisi gösterir ve yukarıdaki ek gerilime karşın ek bir özdirenç ortaya koyarlar. Bu karmaşık özdirenç çok alçak frekanslarda Şekil-2b'deki gibi bir deği-

şim gösterir ve Şekil-2c'deki gibi de faz açısı oluşturur. Pratikte en çok kullanılan yüzde Frekans Etkisi Parametrisi (PFE) yine Şekil-2b'deki gibi tanımlanır.

IP parametreleri olan m ve PFE kayaçların kimyasal bileşimine ve dokularına bağlı olduğu gibi kullanılan akımın ve frekansın miktarlarına da bağlıdır (Scott 1969, Collett 1973 ve Pelton 1978). IP parametrelerinin en büyük değerleri taneli (desemine) pirit ortamında, ıslak kum kil karışımı ve grafitli şistlerde elde edilir. Keza IP parametreleri akım yoğunluğu (0,01-0,1) $\mu A/cm^2$ arasında iken yaklaşıklıkla değişmediği, fakat 0,1 $\mu A/cm^2$ 'den yukarıda sürekli olarak küçüldüğü ve akım saturasyonuna ulaştığı Scott (1969) tarafından gösterilmiştir. Yani IP olayı doğrusal olmayan (nonlinear) bir olaydır. IP parametrelerinin değişimi kullanılan akımın periyoduna önemli bir şekilde bağlı olup 1 saniyeden küçük periyodlardaki akım kullanımlarında elektromagnetik bozum etkilerinin önemli bir kısmının elimine edilmesi gerekir.

Kömür yataklarında IP olayının kaynağı: Yukarıda kısaca sunulan IP olayının meydana gelebilmesi için bütün koşullar bir kömür yatağında genellikle mevcuttur. Bilindiği gibi kömür damarlarının taban ve tavanları kil bandlı olup içlerinde çok az da olsa bir miktar ince kum taneleri bulunur. Kil bandı ile kapanlanmış kömür damarı % 30'a varan gözeneklilik içerebilir ve bu gözenekler içlerinde yeraltı suyu seviyesine bağlı olarak bir miktar su taşır veya doygun (saturated) olabilir. Bu koşullar altında kömür damarının karbonizasyon yüzdesi de göz önüne alındığında öz dirençleri ($2 \times 10^{-2} - 2 \times 10^3$) ohm metreler arasında değerlere sahip olabilir, Verma (1979). Kil bandlarının öz dirençleri ise içlerindeki kumun cinsine ve miktarına bağlı olarak kömür damarınıninkinin 4-5 katı kadar daha düşük olmaktadır.

Bir kömür madeni ister aloktan, ister otoktan olsun, çok çeşitli elementler içeren bir kapak sistemin metamorfizma ürünüdür. Yani kil kapanının oluşturduğu kapalı sistem içinde çok çeşitli kimyasal reaksiyonların oluştuğu bir ortamdır. Reaksiyon ürünleri ise; metalik minerallerden başlıcası pirittir ve mon-metalik olarak karbondur. Pirit, kömür damarı içinde saçılmış (disemine) olarak bulunabileceği gibi, genellikle kırık ve çatlaklık sistemi içinde düşek levhacıklar halinde bulunmaktadır. Keza çatlaklık sistemine bağlı olarak ince kil bandları da kömür damarı içinde bulunabilmektedir.

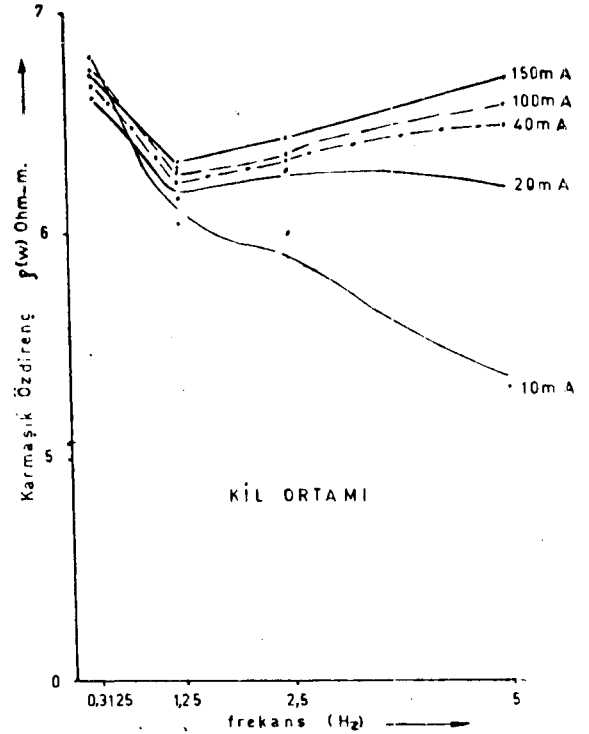
Görülüyor ki yukarıda üzerinde kısaca durulan IP olayını şiddetli bir şekilde oluşturabilecek bütün koşullar bir kömür madeninde kesinlikle mevcuttur.

UYGULAMALAR

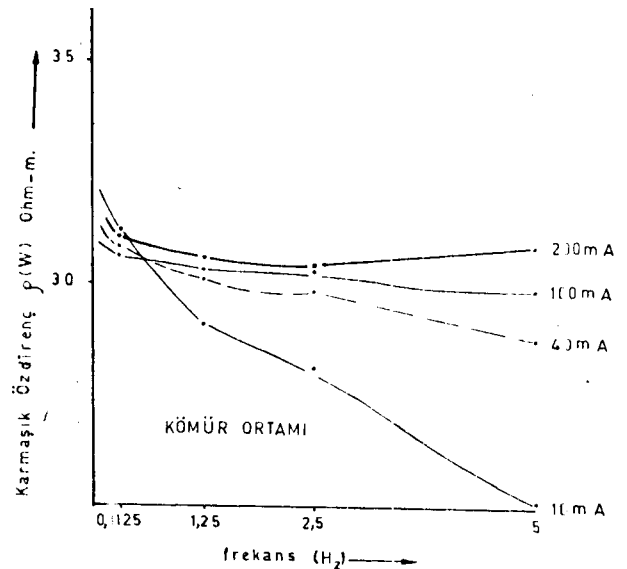
Katsube ve Collett (1973), serpantin, galen, kalkopirit, pirim akım-frekans karakteristiklerinin farklı olduğunu göstererek nonlineriteyi incelemişlerdir. Kömür yatakları üzerine benzer bir çalışma literatürde görülmektedir. Bu amaçla kömür yatağı jeolojik birimleri aşağıdaki gibi incelenmiştir. Kömür ve killerin özellikleri çok kısa zamanda değiştiğinden IP olayının incelenmesinde yerinde (in-situ) ölçü yolu seçilmiştir. Bu amaçla, açık işletmelerde kil ve kömür damarlarının doğrudan doğruya üzerinde akım elektrodları maksimum 100 cm, gerilim elektrodları 10 cm açıklıkta tutarak Schlumberger ölçü sisteminde söz konusu jeolojik birimlerin akım ve frekans karakteristikleri saptanmaya çalışılmıştır. Özetle Şekil (3-4-5)'deki karakteristik değişimlerde kil üzerinde ek direncin başka bir deyimle kutuplaşma şiddetinin akım artmasıyla hızla azaldığı görülmektedir.

Bu karakteristik azalma kömürde akımın daha büyük değerlerinde meydana gelmektedir. Bu sonuç, Vacquier (1957)'in massif killerin IP etkisi vermemesi, Scott (1969) pirit minerallerinin daha çok nonlinear etki göstermesi üzerine olan çalışmalarına uymaktadır. Öz olarak, kömür damarlarının şiddetli IP değeri vermesi nedeni yukarıdaki koşulların gereği olacak şekilde yukarıdaki gibi açıklanabilir.

Bu ölçülerde doğru akım dc ve 0,3, 1,25, 2,5, 5 Hz frekanslarında öz direnç değişimleri ($4-30 \mu a/cm^2$ akım yoğunlukları arasında incelenmiş, kil ve kömür ortamında öz direnç değişimleri şekil (3-4)'deki gibi elde edilmiştir.

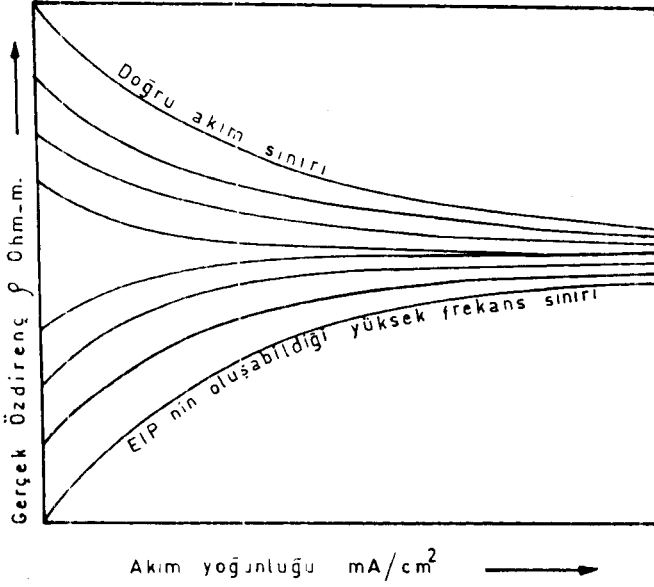


Şekil:(3) Çeşitli akım yoğunluklarında karmaşık Öz direncin frekansta değişimi



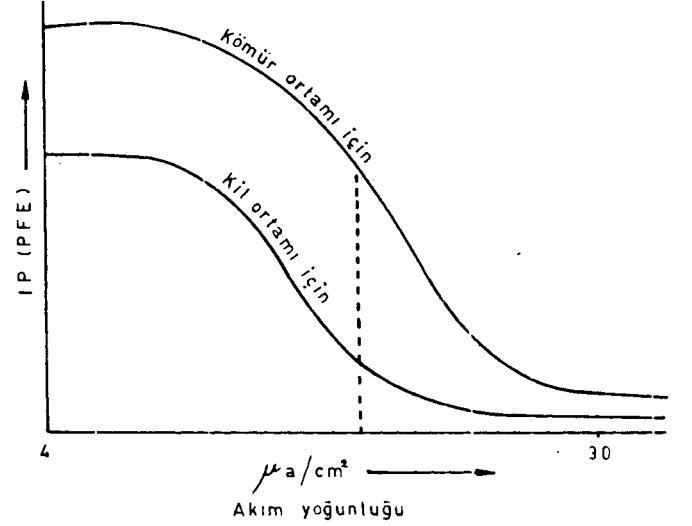
Şekil:(4) Kömür ortamında çeşitli akım yoğunluklarına göre karmaşık Öz direncin frekansta değişimi

Özdirençin bu değişim özelliği kil ve kum ortamlarında farklı olduğu için Şekil-5'de görüldüğü gibi akım yoğunluğu artışı ile IP (f e) parametresi de farklı olarak azalma göstermekte ve belli bir akım yoğunluğu yani $20 \mu a/cm^2$ civarında saturasyona uğramaktadır.



hatları sıkışıklığı, elektrod açıklığı arttıkça daha fazla olacaktır. Elektrod aralığı arttıkça kil ortamında akım yoğunluğu kömüre nazaran daha fazla olacaktır.

Bu durumda masif kil ortamı kömürünkine göre daha hızlı bir şekilde akım saturasyonuna uğrayacaktır. Yani kullanılan belirli bir akım miktarında masif kil ortamı IP etkisi göstermezken, kömür damarı belirgin bir IP etkisi gösterebilmektedir. Böylece yüksek akım yoğunluğunda elde edilemeyen IP anomalisi, seçilen küçük akım yoğunluğu kullanımıyla, Şekil-6'daki gibi belirgin olarak elde edilebilmektedir.



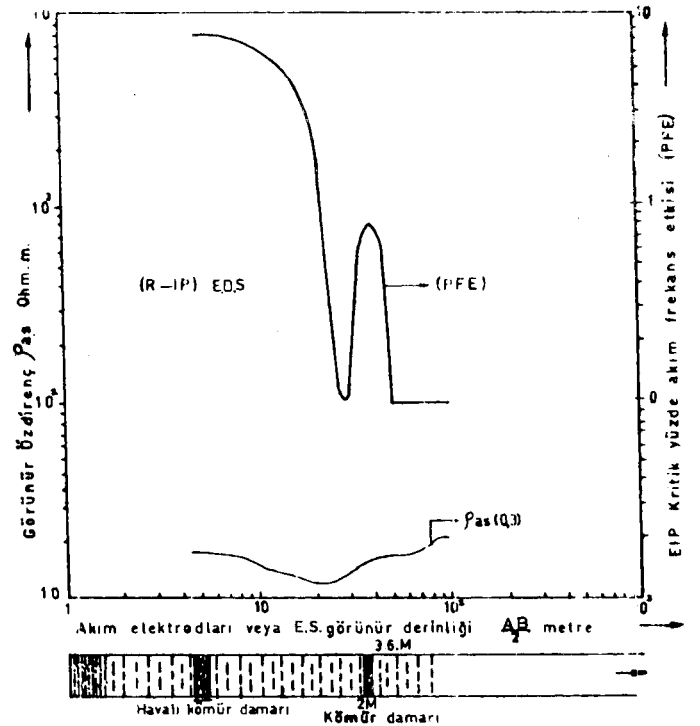
Şekil-6) Kil ve Kömür ortamında etkisel kutuplaştırma parametresinin IP (PFE) yüzde değerlerinin akım yoğunluğu ile değişimleri.

Daha sonra, yeraltındaki tabaka derinlik ve kalınlıkları mekanik sondajlarla saptanmış, bilinen ortamların yeryüzünde çeşitli özdirenç ve IP derinlik sondajları yapılmıştır. Bunların ilki 1980 yılında İstanbul Ağaçlı kömür sahalarında yapılmıştır. Elde edilen veriler Şekil-7'de görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, gerek jeolojik iki birim arasındaki özdirenç farkının az oluşu ve gerekse derindeki kömür gibi ince bir tabakanın etkisi klasik görünür özdirenç eğrilerinde farkedilmez oluşu nedeniyle, Şekil-7'deki görünür özdirenç eğrisindeki kömür tabakasının varlığını işaret edecek herhangi bir belirti yoktur. Klasik IP çalışmalarında ise, elektrod açıklığına dolayısıyla derinliğe göre ve jeolojik birimlere bağlı olarak akım ve frekans bandlarının kullanımına bakılmaksızın büyük IP parametre değerleri aranır. Bu durumda da ancak büyük hacimli ve çok büyük IP etkisine sahip sülfürlü maden yatakları izlenebilir.

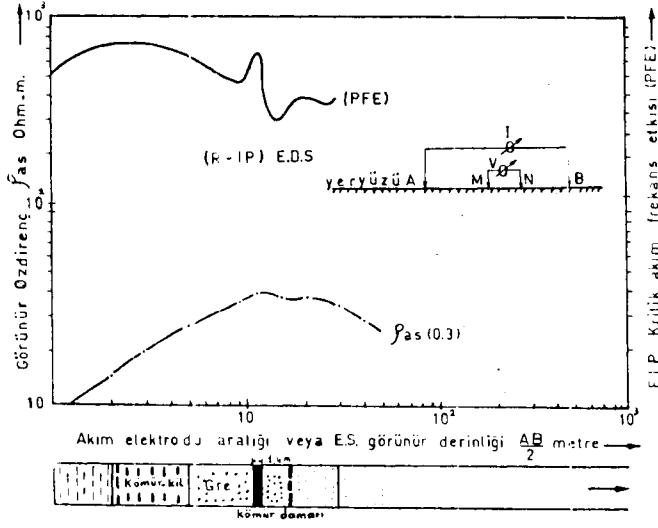
Bu şekilde yapılan IP derinlik sondajlarında, yine, kömür damarının varlığını simgeleyebilecek herhangi bir anomaliye rastlanamamıştır.

Buna karşın geniş bantlı (broad-band) IP gereği kullanılan elektrod dizilimi de göz önünde tutularak ölçülebilir mertebelerde ek gerilim oluşturabilecek kadar düşük akım miktarları ve geniş frekans bandı kullanılmasıyla Şekil-7'deki yüzde akımı frekans parametreleri (PAFE) değişimleri elde edilmiştir. Şekil-7'deki değişimlere göre kömür damarının anomalisi kesin bir sonuçtur.

Yeryüzünde yapılan IP derinlik sondajında böyle bir anomaliyi elde edebilmenin nedeni, kömür damarının yukarıda açıklandığı gibi kile göre daha şiddetli IP'ye sahip olması yanında nisbeten farklı özdirençli tabakalı ortamlarda akım hatlarındaki dağılımında etkisinin bulunmasıdır. Kömür damarı kil bandına göre yüksek özdirençli olduğundan kil bandı içinde akım yoğunluğu başka bir deyişle akım



Şekil-7) Ağaçlı (Akpınar) Bölgesi IP (PFE) derinlik sondajı ve mekanik sondaj kesidi



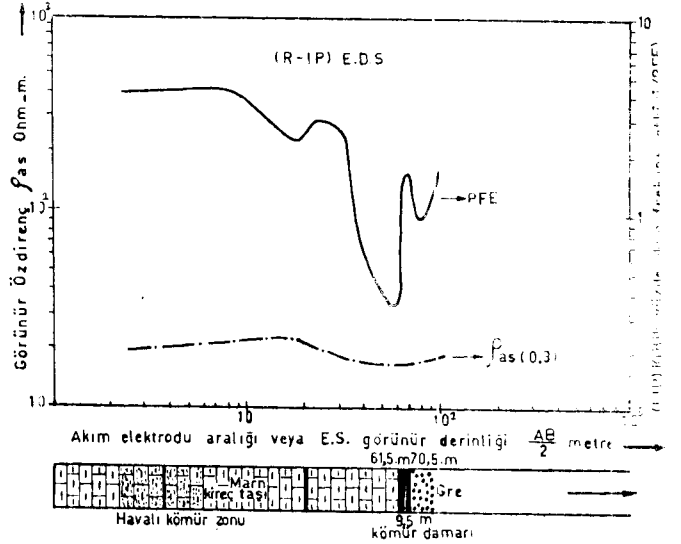
Sekil:(8) Zonguldak (Üzülmüş Çınartepesi) 1 Nolu (EIP) derinlik sondajı ve mekanik sondaj kesiti.

Benzer uygulamalar Zonguldak ve Kütahya (Tunçbilek) kömür sahalarında bilinen ve bilinmeyen mekanik sondajlar üzerinde yapılmış olup, arazi verileri Şekil (8, 9 ve 10)'da görülmektedir. Bu değişimlerdeki IP anomalilerinin oluşumu yukarıdaki gibidir. Böylece görünür özdirenç eğrilerinde görülemeyen kömür damarı anomali etkileri akım ve frekansa göre geniş bantlı IP yönteminde açık bir şekilde görülebilmektedir. Böylece kömür damarının yeraltında bulunup bulunmadığı ve derinliği ortamın yapısal konumu ile birlikte saptanabilir.

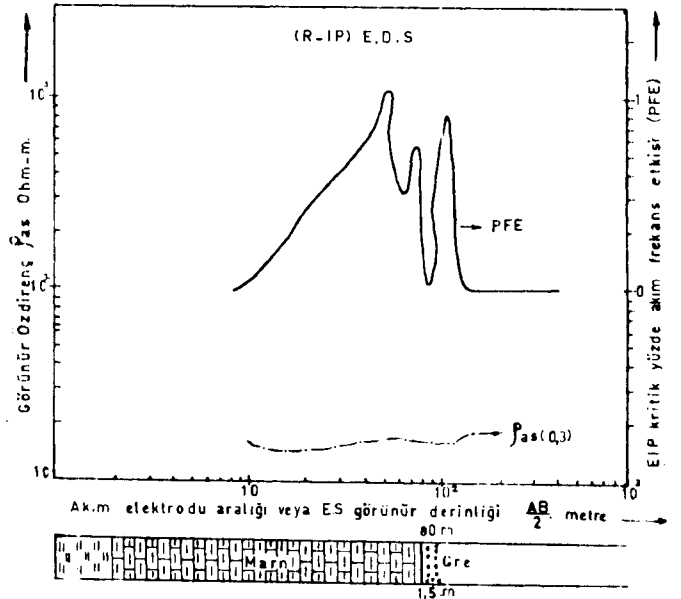
SONUÇ

Türkiye'deki kömür yataklarında, genellikle görüldüğü gibi, kömür damarının içinde bulunduğu ortamda özdirenç farkı az olduğu zaman kömür damarı klasik özdirenç yöntemleri ile saptanamamaktadır.

Polarizlenebilen jeolojik ortamlar farklı akım yoğunluklarında akım doygunluğuna (saturation) ulaşmaktadırlar. Kil ve kömür gibi özdirençli farklı ortamlar birarada oldukları zaman, daha düşük özdirençli kil ortamda akım hatları daha çok yoğunlaşarak IP etkileri küçülmekte buna karşın kömür ortamı IP anomali etkisi belirginleşmektedir. Bu özellikten yararlanılarak, kil ve kömür ortamlarına uyan akım karakteristikleri saptanarak yapılan akım ve frekansa göre (Broad-band IP) IP derinlik sondajlarıyla, klasik özdirenç ve IP yöntemleriyle sağlanamayan kömür damarlarının konumları başarılı olarak saptanabilmektedir. Böylece, şimdiye kadar daha ziyade mekanik sondajlarla yeraltında mevcudiyeti saptanmaya çalışılan kömür damarları çok daha ucuz ve kısa zamanda sonuç verebilen broad band IP yöntemi ile kolaylıkla saptanabilir ve aynı zamanda kömür yatağının yapısal durumu da aydınlatılabilir.



Sekil:(9) Kütahya (Tunçbilek) Bölgesi (E/P) derinlik sondajı ve mekanik 1092 Nolu sondaj kesiti



Sekil:(10) Kütahya (Tunçbilek) mintikası (EIP) derinlik sondajı ve 1087 Nolu mekanik sondaj kesiti

KAYNAKLAR

- Appira, A. ve Roy, A., (1971), Resistivity Model Experiment; Geop-
loration, 7, 45-54.
- Bhattacharya, P.K. and Patra, H.P., (1968), Direct Current Geoelect-
rical Sounding, Elsevier.
- Collett, I.S. and Katsube, T.J., (1973), Electrical Parameters of
Rocks in Developing Geophysical Techniques: Geoph. Prosp.,
38,1,76-91.
- Donald D. Synder and Roger W.Kolwood, (1980), Exploration for
Petroleum Using Complex Resistivity measurements: EDCON,
Inc. Denver.
- Keçeli, A., (1978) Vertical frequency Effect Sounding in Induced
Polarization and Galvanic Resistivity Methods: Geoph. Prosp.,
26,1,202-213.
- Long, O., (1954), Mapping Nearly Vertical Discontinuities by Earth
Resistivities: Geophysics, 19,739-760.
- Scott M.J., 1969, Induced Polarisation of Synthetic, high Resistivity
rocks Containing Disseminated sulfides: Geophysics, 234,1,87.
- Summer, J.S., (1976), Principles of Induced Polarization for Geoph-
sical Exploration: Elsevier
- Pelton et al., 1978, Mineral Discrimination and Removal of inductive
coupling with Multifrequency IP: Geophysics, 43,3, pp.588-609
- Van Nostrand, R.G. and Cook, K.L., (1966), Interpretation of Resis-
tivity Data: Geophysics.
- Verma R.K. and Bruin N.C., (1979), use of electrical resistivity meth-
ods for study of coal seams in part of the Jharia Coalfield,
India: Geoexploration 17, 163-176.
- Verma. R.K., Bandopodhyay and Bhui N.C., (1982), use of elec-
trical Resistivity methods for the study of Coal seams in Parts
of the Reninganz Coalfield (India): Geoexploration 30,1,115-
127.